

Laser butt-welding of diverse transparent thermoplastics employs flexible optical conductor of convenient length and conventional optics

Veröffentlichungsnr. (Sek.) DE19832168
Veröffentlichungsdatum : 2000-01-20
Erfinder : FUHRBERG PETER (DE)
Anmelder : LISA LASER PRODUCTS OHG FUHRBE (DE)
Veröffentlichungsnummer : ☐ DE19832168
Aktenzeichen:
(EPIDOS-INPADOC-normiert) DE19981032168 19980717
Prioritätsaktenzeichen:
(EPIDOS-INPADOC-normiert) DE19981032168 19980717
Klassifikationssymbol (IPC) : B29C65/16
Klassifikationssymbol (EC) : B29C65/00H6H, B29C65/16
Korrespondierende Patentschriften ☐ EP1098751 (WO0003865), B1, ES2190242T, JP2003514684T,
☐ WO0003865

Bibliographische Daten

The laser light wavelength is 1.6-2.4 μ m. An Independent claim is included for the corresponding welding equipment. Preferred features: The wavelength is preferably 1.8-2.2 μ m. Two plastic workpieces are welded flatly together, laser light being directed at right angles to the interface. Workpieces are butt-jointed and welded together, laser light being directed towards the joint on both workpieces. The workpieces are clamped during welding, near the joint; at least one jaw transmitting laser light. The workpieces are alternatively unconfined during welding. The laser light is brought to the workpiece through an optical conductor (4), for spot welding. The light can be beamed over a larger, flat area where the weld is to be made.

Daten aus der esp@cenet Datenbank - - I2

This Page Blank (uspto)

①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 198 32 168 A 1**

⑤ Int. Cl.⁷:
B 29 C 65/16

⑦① Aktenzeichen: 198 32 168.6
⑦② Anmeldetag: 17. 7. 1998
⑦③ Offenlegungstag: 20. 1. 2000

⑦① Anmelder:
LISA laser products oHG Fuhrberg & Teichmann,
37191 Katlenburg-Lindau, DE

⑦④ Vertreter:
Rehberg und Kollegen, 37085 Göttingen

⑦② Erfinder:
Fuhrberg, Peter, Dr., 37191 Katlenburg-Lindau, DE

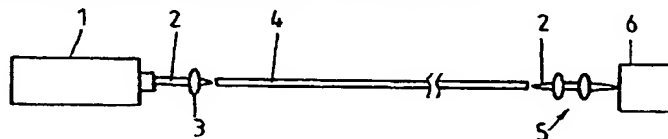
⑤⑥ Entgegenhaltungen:
DE 44 32 981 A1
DE 44 09 255 A1
DE 42 25 679 A1
DE 38 13 570 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Verfahren und Vorrichtung zum Schweißen von thermoplastischen Kunststoffen mit Laserlicht

⑤⑦ Beim Schweißen von thermoplastischen Kunststoffen mit Laserlicht (2), wobei das Laserlicht (2) auf ein Werkstück (7) aus transparentem thermoplastischem Kunststoff gerichtet wird, weist das Laserlicht (2) eine Wellenlänge von 1,6 bis 2,4 μm auf.



DE 198 32 168 A 1

BEST AVAILABLE COPY

DE 198 32 168 A 1

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Schweißen von thermoplastischen Kunststoffen mit Laserlicht, wobei das Laserlicht auf ein Werkstück aus transparentem thermoplastischen Kunststoff gerichtet wird. Weiterhin bezieht sich die Erfindung auf eine Vorrichtung zum Schweißen von thermoplastischen Kunststoffen mit Laserlicht gemäß dem Verfahren, mit einem Laser als Lichtquelle für das Laserlicht.

Das Schweißen von thermoplastischen Kunststoffen erfolgt üblicherweise durch Kontaktieren von Heizelementen an die thermoplastischen Kunststoffe. Durch Wärmeübertrag von den Heizelementen auf die thermoplastischen Kunststoffe werden diese aufgeheizt und plastifiziert, bis beispielsweise eine Verbindung von zwei Werkstücken aus thermoplastischem Kunststoff möglich ist. Dabei besteht ein Nachteil darin, daß die thermoplastischen Kunststoffe an der Grenzfläche zu den Heizelementen ihre höchste Temperatur erreichen, d. h. besonders weitgehend plastifiziert sind. Die Plastifizierung des Kunststoffs wird aber eigentlich dort benötigt, wo beispielsweise die Verbindung von zwei Werkstücken erfolgen soll. Im Kontaktbereich zu den Heizelementen besteht vielmehr die Gefahr, daß beim Entfernen der Heizelemente von den Werkstücken die dort noch plastischen Werkstücke beschädigt werden. Entsprechend ist es bei vielerlei Anwendungen erforderlich, die Heizelemente zunächst abzukühlen und erst dann von den Werkstücken zu entfernen. Hierdurch werden jedoch die beim Verschweißen erreichbaren Taktzeiten erheblich verlängert. Ein weiterer Nachteil des Schweißens von thermoplastischen Kunststoffen unter Verwendung von Heizelementen liegt darin, daß für die Ausbildung von geometrisch kompliziert gestalteten Schweißverbindungen auch entsprechend kompliziert gestaltete Heizelemente benötigt werden, was insbesondere bei der Kleinserienfertigung oder der Einzelanfertigung kaum rentabel ist.

Bei einem bekannten Verfahren der eingangs beschriebenen Art wird Laserlicht eines CO₂-Lasers mit einer Wellenlänge von 10,6 µm verwendet. Das Laserlicht ersetzt ein Heizelement und wärmt den thermoplastischen Kunststoff direkt auf. Laserlicht mit einer Wellenlänge von 10,6 µm dringt aber nicht nennenswert in die Tiefe eines Werkstücks aus thermoplastischem Kunststoff ein, selbst wenn der Kunststoff transparent ist. Das Laserlicht mit dieser Wellenlänge wird vielmehr nach wenigen Zehntel-mm Werkstücktiefe vollständig absorbiert und in Wärme umgewandelt. Das heißt, wie bei der Verwendung eines Heizelements fällt die Wärme im Bereich der der Schweißverbindung typischerweise abgekehrten Oberfläche des dem Laser zugekehrten Werkstücks an. Da das Laserlicht kontaktlos auf den thermoplastischen Kunststoff einwirken kann, besteht nicht die Gefahr einer Beschädigung des Werkstücks beim Entfernen eines Heizelements. Nach dem Schweißen muß das Werkstück aber trotzdem abgekühlt werden, damit seine durch die Aufheizung partiell besonders plastische und daher empfindliche Oberfläche nicht beschädigt wird. Dies steht kurzen Taktzeiten beim Schweißen ebenso entgegen wie der Wärmetransport von der Oberfläche der Werkstücke bis in den Bereich der eigentlichen Schweißung hinein. Weiterhin ist bei dem bekannten Verfahren nachteilig, daß die zu seiner Durchführung erforderlichen Vorrichtungen sehr kostspielig sind. CO₂-Laser sind bereits an sich aufwendig. Hinzu kommt, daß derzeit keine geeigneten Lichtleiter für Laserlicht mit einer Wellenlänge von 10,6 µm bekannt sind. Entsprechend muß das Laserlicht mit dieser Wellenlänge mit komplizierten Spiegelgelenkarmen o. dgl. auf das jeweilige Werkstück gerichtet werden.

Bei einem weiteren Verfahren der eingangs beschriebenen Art wird das Laserlicht eines Nd : YAG-Lasers mit einer Wellenlänge von 1,06 µm verwendet. Laserlicht mit dieser Wellenlänge wird von transparenten thermoplastischen Kunststoffen nur zu geringen Anteilen absorbiert. Um eine gute Umsetzung des Laserlichts in Wärme zu erreichen, muß daher eines der beiden Werkstücke nichttransparent sein, oder es muß eine hinter den Werkstücken angeordnete schwarze Fläche vorgesehen sein, um das Laserlicht in Wärme umzuwandeln. An der jeweiligen Grenzfläche zu dem transparenten Kunststoff erfolgt eine Umwandlung des Laserlichts in Wärme. Wenn es sich um eine zusätzliche schwarze Fläche handelt, ergeben sich dieselben Nachteile wie bei einem anderweitig erwärmten Heizelement. Bei einer Kombination eines Werkstücks aus transparentem thermoplastischen Kunststoff und einem Werkstück aus nichttransparentem thermoplastischen Kunststoff ergibt sich zwar eine Konzentration der Wärmecumwandlung auf das Gebiet der eigentlichen Schweißung bei flächiger Verbindung. Ein Verschweißen von zwei Werkstücken auf Stoß ist aber kaum möglich. Darüber hinaus sind durch die Notwendigkeit, ein Werkstück aus nicht-transparentem thermoplastischen Kunststoff auszubilden, starke Beschränkungen hinsichtlich der Anwendbarkeit des bekannten Verfahrens gegeben.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Schweißen von thermoplastischen Kunststoffen der eingangs beschriebenen Art aufzuzeigen, das die Verschweißung auch dickerer Werkstücke aus Kunststoff unter Ausbildung dauerhafter Schweißverbindungen, insbesondere von Schweißverbindungen auf Stoß, ermöglicht. Weiterhin soll eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens aufgezeigt werden.

Bei dem Verfahren der eingangs beschriebenen Art wird die Aufgabe erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß das Laserlicht eine Wellenlänge von 1,6 bis 2,4 µm aufweist. Besonders bevorzugt ist ein Wellenlängenbereich von 1,8 bis 2,2 µm, d. h. von etwa 2 µm. Laserlicht in diesem Wellenlängenbereich wird von transparenten thermoplastischen Kunststoffen über eine Absorptionslänge von einigen mm absorbiert. Das heißt, ein mit Laserlicht dieser Wellenlänge bestrahltes Werkstück wird in der Tiefe aufgewärmt, also ggf. genau dort, wo eine Schweißverbindung ausgebildet werden soll. So lassen sich Kunststoffe wie Polyamide, Polyacetale, Polyester, Polyethylene, Polypropylene, Polycarbonate, Polyurethane, die häufig nicht zu verkleben sind, problemlos dauerhaft miteinander verschweißen. Gleichzeitig ist die Handhabung des Laserlichts mit einer Wellenlänge von ca. 2 µm problemlos. Es kann im wasserarmen oder wasserfreien Quarz-Quarz-Fasern ohne allzu große Dämpfung auch über größere Faserlängen geführt werden. Mit üblichen Optiken ist eine Fokussierung des Laserlichts in diesem Wellenlängenbereich möglich, so daß auch sehr feine Schweißnähte ausgebildet werden können. Dies ist bis herab zu einer Breite von 0,1 mm möglich.

Mit dem neuen Verfahren können zwei Werkstücke aus Kunststoff flach miteinander verschweißt werden, wobei das Laserlicht quer zu den Werkstücken ausgerichtet wird. Typischerweise wärmt das Laserlicht die Werkstücke beiderseits des Kontaktbereichs auf, wobei eine Abschwächung durch Absorption im Bereich des hinteren Werkstücks durch einen hinter diesem Werkstück angeordneten Reflektor kompensiert werden kann. Der Reflektor selbst ist unkritisch, da er selbst nicht durch das Laserlicht aufgeheizt wird. Er kann sogar zunächst während der Verschweißung gekühlt werden.

Mit dem neuen Verfahren ist es auch möglich, zwei Werkstücke aus Kunststoff auf Stoß miteinander zu verschwei-

Ben. Dabei wird das Laserlicht in Richtung des Stoßes auf beide Werkstücke gerichtet. Die aufeinanderstoßenden Schmalseiten der Werkstücke werden durch das Laserlicht über die gesamte Tiefe des Stoßes aufgewärmt. Auch hierbei kann wieder ein Reflektor eine Abschwächung des Laserlichts durch Absorption in Richtung der Stoßtiefe kompensieren.

Die Werkstücke können beim Verschweißen im Bereich einer gewünschten Schweißverbindung zwischen Halteelementen angeordnet werden, von denen mindestens eines das Laserlicht hindurchtreten läßt. Das andere Halteelement kann der bereits erwähnte Reflektor sein. Beide Halteelemente können beim Verschweißen gekühlt werden, so daß sich die wirksame Aufheizung der Werkstücke auf einen innenliegenden Bereich konzentriert. Dies ist beim flachen Verschweißen von beispielsweise Kunststoffolien sinnvoll. Beim Ausbilden einer Stoßnaht, die sich über die gesamte Stoßtiefe erstrecken soll, darf eine Kühlung der Halteelemente nicht so weit betrieben werden, daß die Werkstücke in der Nähe der Halteelemente nicht mehr plastifiziert werden.

Das neue Verfahren kann aber auch völlig kontaktlos durchgeführt werden, wobei die Werkstücke beim Verschweißen im Bereich einer gewünschten Schweißverbindung freiliegen.

Das Laserlicht kann bei dem neuen Verfahren mit einem Lichtleiter punktuell an das Werkstück aus transparentem thermoplastischen Kunststoff herangeführt werden. Die Schweißnaht beim Verbinden von zwei Werkstücken kann so eine sehr komplizierte geometrische Gestaltung aufweisen, solange der Lichtleiter in ihrer Richtung geführt werden kann. Dies kann aber mit einfachen, vielfach eingesetzten Positioniervorrichtungen problemlos erfolgen.

Das Laserlicht kann aber auch über einen größeren flächigen Bereich einer gewünschten Verschweißung an das Werkstück aus transparentem thermoplastischen Kunststoff herangeführt werden. Dies ist beispielsweise mit einer Lichtleiterplatte möglich, in der das Laserlicht durch Totalreflexion gehalten wird, und auf deren einen Schmalseite mehrere Diodenlaser angeordnet sind, während die gegenüberliegende Schmalseite zur Anlage an dem transparenten Werkstück vorgesehen ist.

Die Vorrichtung der eingangs beschriebenen Art ist erfindungsgemäß dadurch gekennzeichnet, daß der Laser das Laserlicht mit einer Wellenlänge von 1,6 bis 2,4 μm abstrahlt. Derartige Laser sind beispielsweise aus der DE-GM 296 21 859.6 bekannt. Die dort beschriebenen Laser mit einer Wellenlänge von ca. 2 μm sind für die Durchführung des Verfahrens besonders gut geeignet. Dabei handelt es sich um insbesondere diodengepumpte Tm : YAG-Tm, Ho : YAG-, Tm : YLF- bzw. Tm, Ho : YLF-Laser. Diese Festkörperlaser sind bereits ihrerseits vergleichsweise preisgünstig. Das Laserlicht mit der Wellenlänge von 2 μm kann zudem mit geringem Aufwand geleitet und fokussiert werden.

Die Erfindung wird im folgenden anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert und beschrieben. Dabei zeigt:

Fig. 1 den prinzipiellen Aufbau zur Durchführung des neuen Verfahrens,

Fig. 2 eine erste Ausführungsform des neuen Verfahrens,

Fig. 3 eine Abwandlung der Ausführungsform des neuen Verfahrens gemäß Fig. 2,

Fig. 4 eine zweite Ausführungsform des neuen Verfahrens,

Fig. 5 eine Abwandlung der Ausführungsform des neuen Verfahrens gemäß Fig. 4,

Fig. 6 eine zweite Ansicht zu der Abwandlung der zweiten Ausführungsform des neuen Verfahrens gemäß Fig. 5

und

Fig. 7 Details einer Vorrichtung für eine weitergehende Abwandlung der Ausführungsform des Verfahrens gemäß den Fig. 5 und 6.

Fig. 1 zeigt einen Laser 1, bei dem es sich um einen diodengepumpten Tm : YAG-Festkörperlaser handelt, der das Laserlicht 2 mit einer Wellenlänge von 2 μm abstrahlt. Das Laserlicht 2 wird mit einer Linse 3 in einen Lichtleiter 4 eingekoppelt. Der Lichtleiter ist eine wasserfreie Quarz-Quarz-Faser. Der Lichtleiter 4 weist nur eine geringe Dämpfung für das Laserlicht 2 auf, auch bei größeren Faserlängen. Das aus dem Lichtleiter 4 wieder austretende Laserlicht 2 wird von einer Optik 5 umgeformt und trifft anschließend auf ein Werkstück 6 aus thermoplastischem transparenten Kunststoff, beispielsweise aus einem Polyurethin. Das Laserlicht 2 wird in dem Werkstück 6 über eine Absorptionslänge von einigen mm absorbiert, d. h. in Wärme umgewandelt.

Die Erwärmung eines folienartigen Werkstücks 7 und eines dahinterliegenden weiteren folienartigen Werkstücks 8, die beide aus transparentem thermoplastischen Kunststoff bestehen, wird bei der Anordnung gemäß Fig. 2 zum flachen Verbinden der Werkstücke 7 und 8 durch eine Schweißverbindung 9 genutzt. Dabei erfolgt das Verschweißen der Werkstücke 7 und 8 kontaktlos, d. h. die Werkstücke 7 und 8 liegen im Bereich der Schweißverbindung 9 völlig frei und mit Abstand zu der Optik 5.

Bei der Ausführungsform gemäß Fig. 3 ist auf die Optik 5 verzichtet. Der Lichtleiter 4 liegt vielmehr direkt an einer Quarzglasplatte 10 an, die ein erstes Halteelement 11 für das Paar der flach miteinander zu verbindenden Werkstücke 7 und 8 ausbildet. Auf der Rückseite der Werkstücke 7 und 8 ist ein zweites Halteelement 12 in Form eines Reflektors 13 vorgesehen. Das aus dem Lichtleiter 4 austretende Laserlicht 2 tritt durch die Quarzglasplatte 10 hindurch und wird dann schrittweise von den Werkstücken 7 und 8 absorbiert, wobei die Werkstücke 7 und 8 im Bereich der gewünschten Schweißverbindung 9 erwärmt werden. Der auf den Reflektor 13 auftreffende Rest des Laserlichts 2 wird auf die Werkstücke 8 und 7 zurückreflektiert, wodurch eine ungleichmäßige Verteilung der Erwärmung der Werkstücke 7 und 8 aufgrund der fortschreitenden Absorption zumindest teilweise kompensiert wird. Die Plastifizierung des Kunststoffs der Werkstücke 7 und 8 an den äußeren Oberflächen bewegt sich in derselben Größenordnung wie die Plastifizierung im Bereich der gegenseitigen Anlage der Werkstücke 7 und 8. Allein dies erlaubt es, die Halteelemente 11 und 12 nach der Ausführung der Schweißverbindung 9 sehr rasch auseinander zu fahren, ohne die Schweißverbindung wieder zu beschädigen. Zudem ist es möglich, die Halteelemente 11 und 12 dauerhaft zu kühlen, da die Erwärmung der Werkstücke 7 und 8 im Kontaktbereich zu den Halteelementen 11 und 12 für die Ausbildung der Schweißverbindung 9 unnötig ist.

Fig. 4 zeigt eine andere Ausführungsform des Verschweißens von zwei Werkstücken 7 und 8 mit dem Laserlicht 2. Die Werkstücke 7 und 8 aus transparentem thermoplastischen Kunststoff sind hier auf Stoß angeordnet. Das Laserlicht 2 aus der Optik 5 wird so auf die Werkstücke 7 und 8 gerichtet, daß beide Werkstücke 7 und 8 über die gesamte Tiefe des Stoßes 14 und damit der gewünschten Verschweißung 9 erwärmt werden. Bis zu einer Materialstärke der Werkstücke 7 und 8 von einigen mm ist dies ob der Wellenlänge des Laserlichts 2 von 2 μm problemlos möglich.

Während gemäß Fig. 4 die Werkstücke 7 und 8 im Bereich der Schweißverbindung 9 nicht geführt bzw. gehalten sind, ist gemäß Fig. 5 eine rückwärtige Abstützung durch ein als Reflektor 13 ausgebildetes Halteelement 12 vorgesehen. Auf der Eintrittsseite des Laserlichts ist eine Quarzglasplatte 15 angeordnet, deren Schmalseite dem Halteelement

12 gegenüberliegt. Die Quarzglasplatte 15 dient als Lichtleiter für das Laserlicht 2, das hier direkt von Laserdioden 16 auf der dem Reflektor 13 gegenüberliegenden Seite der Quarzglasplatte 15 in die Quarzglasplatte 15 eingekoppelt wird. Das Laserlicht 2 wird durch Totalreflexion in der Quarzglasplatte 2 geführt und trifft dann auf die Werkstücke 7 und 8 im Bereich des Stoßes 14, d. h. der gewünschten Schweißverbindung 9 auf.

Fig. 6 zeigt die Anordnung gemäß Fig. 5 aus einer zu Fig. 5 rechtwinklig verlaufenden Blickrichtung und läßt die Mehrzahl der Laserdioden 16 erkennen.

Gemäß den Fig. 6 und 7 ist die Anlagefläche der Quarzplatte 15 an den Werkstücken 7 und 8 eben. Fig. 7 skizziert den Fall eines komplizierteren Verlaufs der gewünschten Schweißverbindung, indem die den Laserdioden 16 gegenüberliegende Schmalseite der Quarzplatte 15 einen komplizierten kurvenförmigen Verlauf aufweist. Die Verwendung einer Quarzplatte 15 als Lichtführung ist immer dann sinnvoll, wenn vergleichsweise breite Schweißverbindungen angelegt werden sollen und wenn eine Vielzahl von gleichartigen Schweißverbindungen ausgeführt werden sollen. Wechselnde Geometrien der Schweißverbindungen und besonders schmale Schweißverbindungen sind mit der Anordnung gemäß den Fig. 1-4 leichter zu befriedigen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Schweißen von thermoplastischen Kunststoffen mit Laserlicht, wobei das Laserlicht auf ein Werkstück aus transparentem thermoplastischen Kunststoff gerichtet wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Laserlicht (2) eine Wellenlänge von 1,6 bis 2,4 μm aufweist.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Laserlicht (2) eine Wellenlänge von 1,8 bis 2,2 μm aufweist.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß zwei Werkstücke (7, 8) aus Kunststoff flach miteinander verschweißt werden, wobei das Laserlicht (2) quer zu den Werkstücken (7, 8) ausgerichtet wird.
4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß zwei Werkstücke (7, 8) aus Kunststoff auf Stoß miteinander verschweißt werden, wobei das Laserlicht (2) in Richtung des Stoßes (14) auf beide Werkstücke (7, 8) gerichtet wird.
5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Werkstücke (7, 8) beim Verschweißen im Bereich einer gewünschten Schweißverbindung (9) zwischen Halteelementen (11, 12) angeordnet werden, von denen mindestens eines das Laserlicht (2) hindurchtreten läßt.
6. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Werkstücke (7, 8) beim Verschweißen im Bereich einer gewünschten Schweißverbindung (9) frei liegen.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß das Laserlicht (2) mit einem Lichtleiter (4) punktuell an das Werkstück (7 bzw. 8) aus transparentem thermoplastischem Kunststoff herangeführt wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Laserlicht (2) über einen größeren flächigen Bereich einer gewünschten Schweißung an das Werkstück (7 bzw. 8) aus transparentem thermoplastischen Kunststoff herangeführt wird.
9. Vorrichtung zum Schweißen von thermoplastischen

Kunststoffen mit Laserlicht nach einem der Ansprüche 1 bis 8, mit einem Laser als Lichtquelle für das Laserlicht, dadurch gekennzeichnet, daß der Laser (1) das Laserlicht (2) mit einer Wellenlänge von 1,6 bis 2,4 μm abstrahlt.

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Laser (2) ein insbesondere diodengepumpter Tm: YAG-, ein Tm, Ho: YAG-, ein Tm: YLF- oder ein Tm, Ho: YLF-Laser ist.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

BEST AVAILABLE COPY

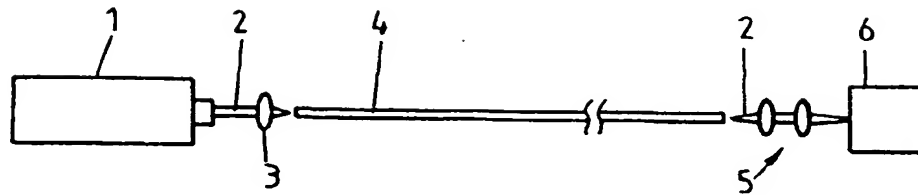


Fig. 1

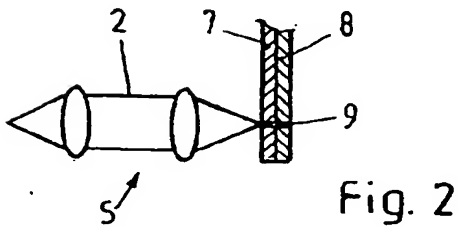


Fig. 2

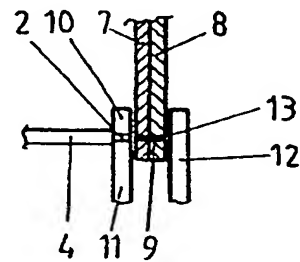


Fig. 3

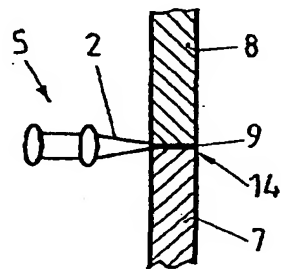


Fig. 4

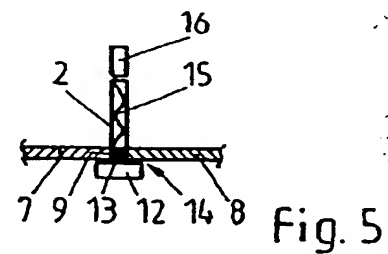


Fig. 5

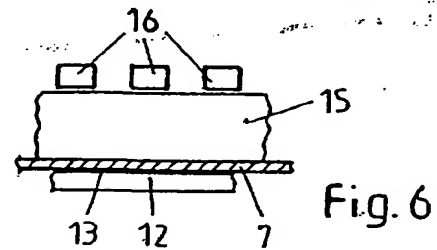


Fig. 6

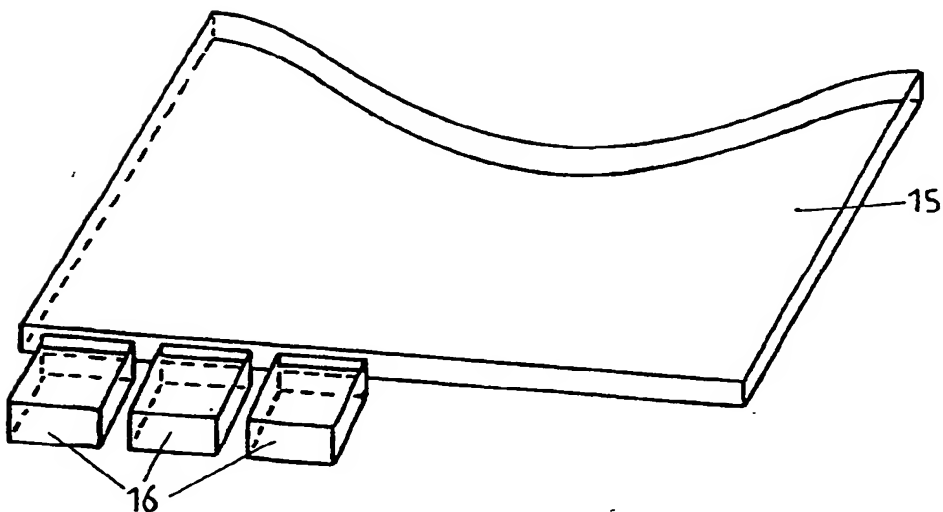


Fig. 7